



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

①⑫ **Offenlegungsschrift**
①⑩ **DE 198 19 492 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
G 01 B 11/24
// H01L 21/66

②① Aktenzeichen: 198 19 492.7
②② Anmeldetag: 30. 4. 98
④③ Offenlegungstag: 11. 11. 99

DE 198 19 492 A 1

⑦① Anmelder:

Leica Microsystems Wetzlar GmbH, 35578 Wetzlar,
DE

⑦② Erfinder:

Bläsing-Bangert, Carola, Dr., 35625 Hüttenberg, DE;
Rinn, Klaus, Dr., 35452 Heuchelheim, DE; Kaczynski,
Ulrich, 61231 Bad Nauheim, DE; Beck, Mathias, Dr.,
35606 Solms, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:

DE 35 14 459 A1

Mirandé, W.: "Kantenvermessung an
Mikrostrukturen"

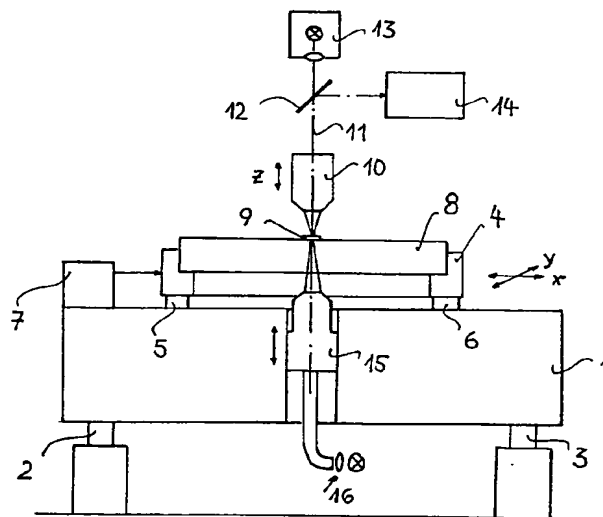
In: VDI-Berichte Nr. 1102, 1993, S. 137-159;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Meßgerät zur Vermessung von Strukturen auf einem transparenten Substrat

⑤⑦ Ein Meßgerät zur Vermessung von Strukturen (9) auf einem transparenten Substrat (8), mit einer Auflicht-Beleuchtungseinrichtung (10, 13), einer Abbildungs-Einrichtung (10) und einer Detektor-Einrichtung (14) für die abgebildeten Strukturen (9) und einem senkrecht und relativ zur optischen Achse (11) der Abbildungs-Einrichtung (10) interferometrisch (7) meßbar verschiebbarem Meßtisch (4) zur Aufnahme des Substrats (8) zeichnet sich dadurch aus, daß der Meßtisch (4) als offener Rahmen mit einem Aufnahmerand für das Substrat (8) ausgebildet ist und unter dem Meßtisch (4) eine Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung (15, 16) vorgesehen ist, deren optische Achse mit der der Auflicht-Beleuchtungseinrichtung (10, 13) fluchtet.



DE 198 19 492 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Meßgerät und ein Verfahren zur Vermessung von Strukturen auf einem transparenten Substrat mit einer Aufsicht-Beleuchtungseinrichtung, einer Ab-

bildungs-Einrichtung und einer Detektor-Einrichtung für die abgebildeten Strukturen und einem senkrecht und relativ zur optischen Achse der Abbildungs-Einrichtung interferometrisch meßbar verschiebbarem Meßtisch zur Aufnahme des Substrats.

Ein Meßgerät dieser Art ist z. B. in dem Vortragsmanuskript: Pattern Placement Metrology for Mask Making, Dr. Carola Blasing, ausgegeben anlässlich der Tagung Semicon, Education Program, in Genf am 31.03.1998, ausführlich beschrieben. Das Meßgerät ist in einer Klimakammer aufgestellt, um eine Meßgenauigkeit im Nanometer-Bereich erreichen zu können. Gemessen werden die Koordinaten von Strukturen auf Masken und Wafern. Das Meßsystem ist auf einem schwingungsgedämpft gelagerten Granitblock angeordnet. Die Masken und Wafer werden mit einem automatischen Handlingsystem auf den Meßtisch gebracht.

Der Meßtisch gleitet auf Luftlagern auf der Oberfläche des Granitblocks. An zwei zueinander senkrecht stehenden Seiten des Meßtisches sind ebene Spiegel angebracht. Ein Laser-Interferometer-System bestimmt die Position des Meßtisches.

Die Beleuchtung und die Abbildung der zu messenden Strukturen erfolgt über eine hoch auflösende, apochromatisch korrigierte Mikroskop-Optik im Aufsicht im Spektralbereich des nahen UV. Eine CCD-Kamera dient als Detektor. Aus den innerhalb eines Meßfensters liegenden Pixeln des Detektorarrays werden Meßsignale gewonnen. Durch Bildverarbeitung wird daraus ein Intensitätsprofil der gemessenen Struktur abgeleitet, aus dem z. B. die Kantenlage der Struktur ermittelt wird.

Das beschriebene Meßgerät wird vorzugsweise zur Bestimmung der Kantenlage von Strukturen auf Masken und Wafern für die Halbleiterherstellung verwendet. Die Strukturen werden durch Schichten gebildet, die auf die Maskenfläche aufgebracht sind. Die Oberflächen sind unterschiedlich reflektierend. Die Kanten dieser Schichten sind aufgrund des Herstellungsprozesses unterschiedlich steil und unterschiedlich sauber ausgebildet. Ein TV-Autofokussystem sucht zur Optimierung der Abbildung der Kante die Einstellung mit dem schärfsten Kontrast. Die in dieser Einstellung gemessene Lage der Kante relativ zur optischen Achse des Abbildungssystems in Verbindung mit der gemessenen Tischposition ergibt die Lagekoordinate des Strukturelementes im Maschinen-Koordinatensystem. Dieses läßt sich nach vorheriger Ausrichtung der Maske in ein Masken-Koordinatensystem um rechnen und mit den Designaten der Strukturelemente vergleichen. Bei z. B. linienförmigen Strukturelementen können auch beide Kantenlagen gemessen werden. Die Mittellinie dazu kann dann als Lagekoordinate gewählt werden. Bei kreuzförmigen Strukturen kann der Schnittpunkt der Mittellinien als Position angegeben werden.

Die gemessene Kantenlage hängt zum einen von der physikalischen Qualität der Kante selbst und zum anderen von der verwendeten optischen Meßmethode sowie der Güte des Abbildungssystems ab. Die Zusammenhänge werden in dem Aufsatz "Kantenvermessung an Mikrostrukturen", W. Mirandé, VDI Berichte Nr. 1102 (1993), Seite 137 ff beschrieben. Wird die Position der Struktur durch die Mittellinie zu den beiden Kanten definiert, so haben die Einflüsse auf die gemessene Kantenlage im allgemeinen keine Auswirkung auf die gemessene Position der Struktur. Die Auswertung der Meßergebnisse für eine Strukturbreitenmes-

sung kann dagegen in unterschiedlichen Meßgeräten zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Bei der Halbleiterherstellung wird die Maske im Stepper im Durchlicht beleuchtet und auf den Wafer abgebildet. Es besteht daher auch ein Interesse daran, die genaue lichtabschattende Breite des Strukturelementes ermitteln zu können. Hierfür wurden spezielle Meß-Mikroskope entwickelt, bei denen die Maske im Durchlicht beleuchtet und anschließend die Breite des opaken Strukturbildes gemessen wird. Für eine Bestimmung der Lagekoordinaten der Strukturelemente sind diese Meßgeräte nicht vorgesehen. Diese Überlegungen gelten in gleicher Weise, wenn anstelle opaker Strukturelemente transparente Strukturelemente in der Maskenoberfläche gemessen werden sollen.

Die zunehmenden Anforderungen in der Qualitätskontrolle der Maskenherstellung erfordern eine Überprüfung der Designparameter der Maskenstrukturen sowohl hinsichtlich ihrer Lage als auch ihrer wirksamen Projektionsbreite. Dabei wird eine immer kürzere Durchlaufzeit gefordert. Die notwendigen Reinheitsanforderungen bedingen zudem eine steigende Sorgfalt bei den Handlungsvorgängen für die Auflage der Maske im Meßgerät. Bei zunehmender Größe der Masken und steigender Strukturdichte nimmt auch der Wert der Masken nach jedem Prozeßschritt zu, so daß auch die Sicherheit des Handlings gegen Zerstörung der Masken von entscheidender Bedeutung ist.

Der Erfindung lag daher die Aufgabe zugrunde, ein Meßgerät zu schaffen, mit dem sowohl eine genaue Lagebestimmung als auch eine zuverlässigere Aussage über die Strukturbreite ohne Kenntnis der geometrischen Kantenprofile möglich ist.

Diese Aufgabe wird bei einem Meßgerät der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Meßtisch als offener Rahmen mit einem Aufnahmehand für das Substrat ausgebildet ist und unter dem Meßtisch eine Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung vorgesehen ist, deren optische Achse mit der der Aufsicht-Beleuchtungseinrichtung fluchtet. Bei einem zur Lösung der gestellten Aufgabe geeigneten Verfahren wird das Substrat erfindungsgemäß wahlweise in Aufsicht und Durchlicht beleuchtet. Vorteilhaftige Weiterbildungen ergeben sich aus den Merkmalen der Unteransprüche.

Mit der erfindungsgemäßen Ausgestaltung des an sich bekannten Meßgerätes wird es möglich, mit nur einem Handlungsvorgang in demselben Meßgerät sowohl die Lagekoordinaten als auch die Strukturbreite in Aufsicht- und Durchlicht-Beleuchtung zu messen. Der Wegfall von Rüstzeiten für die Einbringung in ein zweites Meßgerät und auch von Meßzeiten beschleunigt die Qualitätskontrolle. Die Einsparung eines zusätzlichen Meßgerätes verbilligt die Kontrolle, vereinfacht die Einbindung des Kontroll-Meßgerätes in eine Prozeßlinie und verringert die Gefahr einer Zerstörung des Substrats beim Handling. Der unmittelbare Vergleich von Meßwerten bei unterschiedlichen Beleuchtungen unter sonst gleichen Auswertebedingungen ermöglicht eine erweiterte Analyse der Maskenherstellungsprozesse.

In überraschender Weise hat es sich herausgestellt, daß auch mit dem als Rahmen ausgebildeten Meßtisch die Meßgenauigkeit des Meßgerätes für die Messung der Lagekoordinaten beibehalten werden kann. Die Strukturbreite kann somit aufgrund der Durchlicht-Beleuchtung mit derselben Genauigkeit gemessen werden wie die der Lagekoordinaten und die Strukturbreite kann einer genau bestimmten Lage auf der Maske zugeordnet werden. Der Vergleich der Meßwerte für die Kantenlage im Aufsicht und Durchlicht ergibt zusätzliche Informationen über die Ausbildung der Kante. Auf diese Weise können insbesondere auch unsymmetrische Kantenprofile erkannt und zur Korrektur der Positions-Ko-

ordinaten der Strukturelemente verwendet werden.

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Meßgerätes schematisch dargestellt und wird anhand der Figuren nachfolgend beschrieben. Dabei zeigen

Fig. 1 eine Ansichtsdarstellung des Meßgerätes und

Fig. 2 ein Struktur- und Intensitätsprofil mit Auswertung im Auflicht und Durchlicht

Fig. 3 ein anderes Struktur- und Intensitätsprofil

Das in **Fig. 1** dargestellte Ausführungsbeispiel besteht aus einem Granitblock **1**, der auf Füßen **2, 3** schwingungsgedämpft gelagert ist. Auf dem Granitblock **1** ist ein als Rahmen ausgebildeter Meßtisch **4** auf Luftlagern **5, 6** in den zwei durch Pfeile angedeuteten Richtungen gleitend verschiebbar. Der Rahmen des Meßtisches **4** besteht vorteilhafterweise aus einer Glaskeramik mit geringem thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Die Antriebe dafür sind nicht dargestellt. Die Position des Meßtisches **4** wird mit einem Laser-Interferometer-System **7** in x- und y-Richtung gemessen.

In den Rahmen des Meßtisches **4** ist eine Maske **8** eingelegt. Die Maske **8** besteht z. B. aus Quarzglas. Auf der Maskenoberfläche sind Strukturen **9** aufgebracht. Da der Meßtisch **4** als Rahmen ausgebildet ist, kann die Maske **8** auch von unten her durchleuchtet werden.

Oberhalb der Maske **8** befindet sich ein Abbildungssystem **10** hoher optischer Güte, das zur Fokussierung längs seiner optischen Achse **11** in z-Richtung verstellbar ist. Über einen Teilerspiegel **12** wird zum einen das Licht einer Lichtquelle **13** in den optischen Strahlengang eingeleitet und zum anderen werden die Abbildungsstrahlen auf eine Detektor-Einrichtung **14** gelenkt. Die Detektor-Einrichtung **14** ist z. B. eine CCD-Kamera mit hochauflösendem Pixelarray. Die Lichtquelle **13** emittiert im nahen UV-Spektralbereich.

In den Granitblock **1** ist eine weitere Beleuchtungseinrichtung eingesetzt, die aus einem höhenverstellbaren Kondensor **15** und einer Lichtquelle **16** besteht. Als Lichtquelle **16** kann auch die Austrittsfläche eines Lichtleiters vorgesehen sein. Die optische Achse des Kondensors **15** fluchtet mit der optischen Achse **11** des Abbildungssystems **10**. Die Höhenverstellung des Kondensors **15** mit Lichtquelle **16** dient der Anpassung der auf die Struktur **9** zu richtenden Beleuchtungsstrahlen an unterschiedliche optische Dicken von Masken **8**. Der Kondensorkopf kann insbesondere in den offenen Teil des Meßtischrahmens hineinreichen. Zum Schutz vor Beschädigungen bei Tischverschiebungen über die gesamte Maskenfläche kann er aber auch unter die Oberfläche des Granitblocks gezogen werden. Die Lichtquellen **13** und **16** sind voneinander unabhängig einschaltbar.

In **Fig. 2** ist als ausgezogenes Rechteck ein Querschnitt durch ein ideales Strukturelement **17** dargestellt. Die Strukturhöhe beträgt etwa 100–200 nm. Wird ein solches Strukturelement **17** im Auflicht **18** beleuchtet und auf die Pixel der CCD-Empfängerfläche der Kamera **14** abgebildet, so ist auch bei optimaler Fokussierung das Bild im Kantenbereich beugungsbedingt unscharf. Das Beugungsscheibchen jedes Bildpunktes ist dabei größer als ein Pixelelement. Ein quer zu den Kanten aus den Pixelintensitäten der CCD-Elemente abgeleitetes relatives Intensitätsprofil **19** hat schematisch den nach oben gestrichelt eingezeichneten Verlauf. Aus theoretischen Überlegungen ergibt sich, daß mit 50% der Intensität die Lage der Kante **20, 21** des Strukturelementes **17** am besten wiedergegeben wird. Die Mittellinie **22** zu den auf diese Weise bestimmten Kantenlagen **20, 21** definiert die Lagekoordinate des Strukturelementes **17**.

Wird dasselbe Strukturelement **17** im Durchlicht **23** beleuchtet, so erscheint es für die abbildende Optik **10** als dunkler Schatten **24**. Auch hier werden die Schattengrenzen

mehr oder weniger scharf auf die CCD-Elemente abgebildet. Es ergibt sich in gleicher Weise ein relatives Intensitätsprofil **25**, das nach unten aufgetragen ist. Definiert man die Lage der Kante wiederum über das 50%-Niveau des Intensitätsprofils, so ergibt sich in diesem Idealfall dieselbe Kantenlage **20', 21'** wie im Auflicht **18** und auch dieselbe Lagekoordinate **22'**. Für die durch Pfeile zwischen den Kanten angedeutete Strukturbreite ergibt sich ebenfalls derselbe Wert aus der Differenz der beiden Kantenlagen **20, 21; 20', 21'**.

In **Fig. 3** ist das Kantenprofil **26** unsymmetrisch trapezförmig dargestellt. Es könnte auch ein Beispiel ausgewählt werden, bei dem die Kanten beidseitig steil abfallen und nur im Fußbereich einseitig aufgrund von unsauberen Ätzprozessen eine Verbreiterung auftritt. Der TV-Autofokus wird in jedem Fall die Abbildung auf die kontrastreichste Abbildung der Oberfläche des Strukturelements einstellen. Auf diese Abbildung hat der aktuelle Verlauf des unsymmetrischen Teils des Kantenprofils nahezu keinen Einfluß. Es ergibt sich im Auflicht **18** daher ein im Vergleich zu **Fig. 2** ähnliches Intensitätsprofil **27**, aus dem die Kantenlagen **28, 29** und die Lagekoordinate **30** des Strukturelements **26** abzuleiten sind.

Im Durchlicht **23** ist jedoch allein der Fußbereich des Kantenprofils **26** für die Schattenbildung **31** und das auf den CCD-Elementen erzeugte Bild entscheidend. Es ergibt sich daher wiederum ein im wesentlichen symmetrisches Intensitätsprofil **32** mit nach rechts verschobener Kantenlage **29'**. Damit resultiert zunächst eine größere Strukturbreite aus der Differenz der Kantenlagen und auch eine andere Lagekoordinate **30'** für das Strukturelement **26**. Die Differenz der Lagekoordinaten **30, 30'** deutet also auf die Unsymmetrie des Kantenprofils **26** hin. Der Maskenhersteller ist somit in der Lage, seinen Herstellprozeß besser zu analysieren. Es ist ersichtlich, daß bei einem symmetrisch trapezförmigen Kantenprofil die Lagekoordinaten aus der Auflicht- und der Durchlichtmessung nicht unterschiedlich sind. Hier verändert sich lediglich die Aussage über die Strukturbreite. Auch das läßt eine Aussage über den Herstellprozeß zu. Die verwendeten Darstellungen der Kanten- und Intensitätsprofile sind schematisch und können insbesondere bei Strukturbreiten und Strukturabständen im Bereich der Lichtwellenlänge komplexer sein.

Die beschriebene Vergleichbarkeit der Meßdaten im Auflicht und im Durchlicht ist nur deswegen zulässig, weil sie in gleicher Lokalisierung des Substrats und mit denselben Abbildungs- und Auswertungsmitteln gewonnen werden. Erstmals wird die Zuordnung einer im Durchlicht gemessenen Strukturbreite zu einer absoluten Lageangabe für diese Struktur im Maskenkoordinatensystem möglich.

Patentansprüche

1. Meßgerät zur Vermessung von Strukturen (**9**) auf einem transparenten Substrat (**8**), mit einer Auflicht-Beleuchtungseinrichtung (**10, 13**), einer Abbildungs-Einrichtung (**10**) und einer Detektor-Einrichtung (**14**) für die abgebildeten Strukturen (**9**) und einem senkrecht und relativ zur optischen Achse (**11**) der Abbildungs-Einrichtung (**10**) interferometrisch (**7**) meßbar verschiebbarem Meßtisch (**4**) zur Aufnahme des Substrats (**8**), **dadurch gekennzeichnet**, daß der Meßtisch (**4**) als offener Rahmen mit einem Aufnahmegerät für das Substrat (**8**) ausgebildet ist und unter dem Meßtisch (**4**) eine Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung (**15, 16**) vorgesehen ist, deren optische Achse mit der der Auflicht-Beleuchtungseinrichtung (**10, 13**) fluchtet.
2. Meßgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

net, daß die Detektor-Einrichtung eine CCD-Kamera (14) ist.

3. Meßgerät nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Auflicht- und die Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung wechselweise einschaltbar sind. 5

4. Verfahren zur Vermessung von Strukturen auf einem transparenten Substrat mit Beleuchtung und Abbildung der Strukturen auf eine Detektor-Einrichtung und interferometrisch meßbarer Verschiebung des Substrats in einer Ebene senkrecht zur Abbildungsrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat wahlweise in Auflicht oder Durchlicht beleuchtet wird. 10

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Koordinaten der Strukturen sowohl bei Auflicht- als auch bei Durchlicht-Beleuchtung bestimmt werden. 15

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Kantenlagen der Strukturen bei Auflicht- und/oder Durchlicht-Beleuchtung für eine Strukturbreitenmessung ausgewertet werden. 20

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

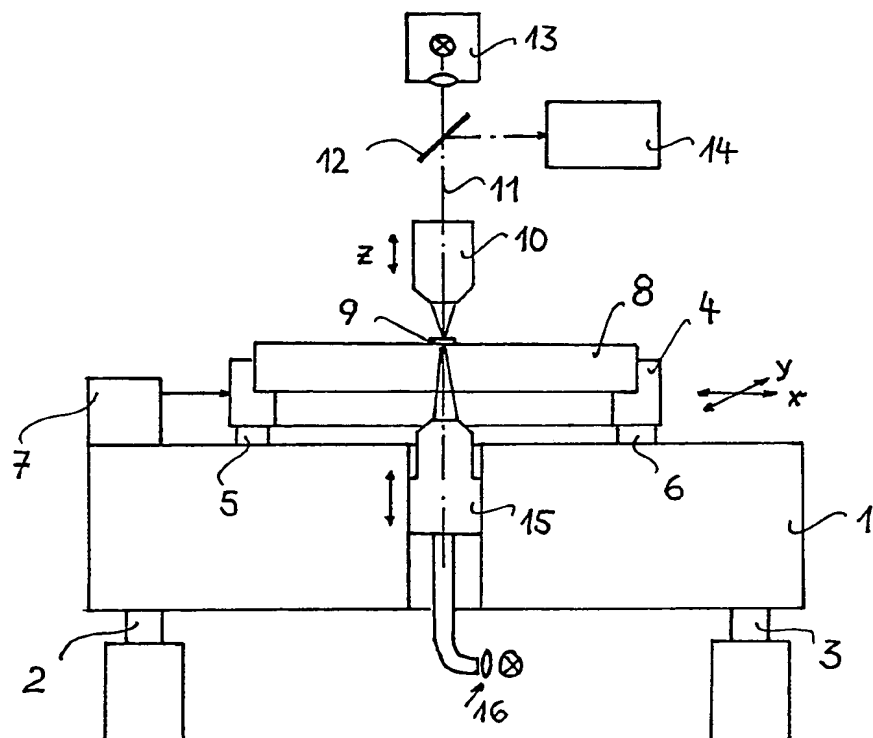


Fig. 1

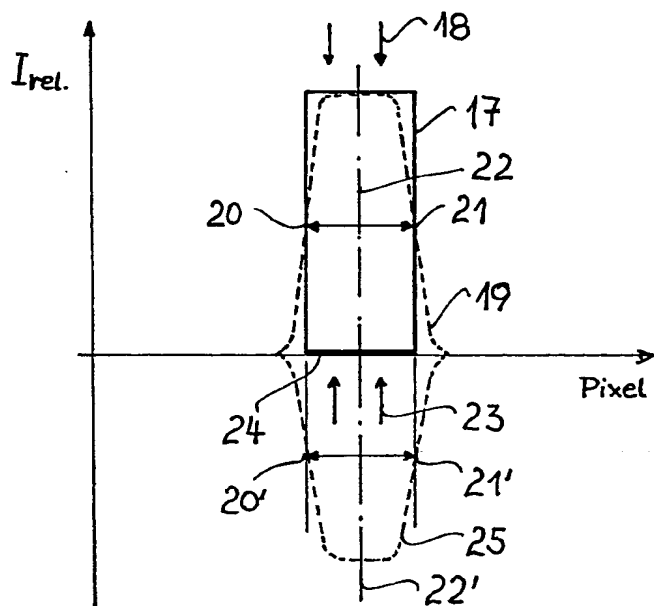


Fig. 2

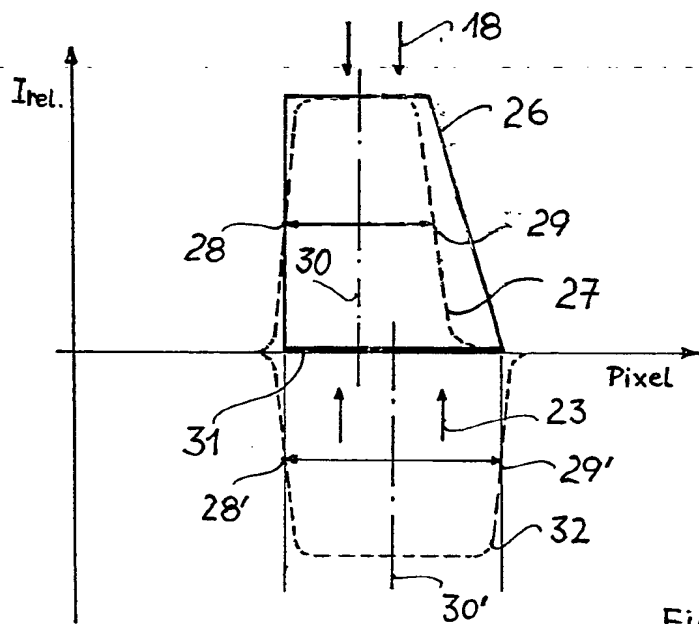


Fig. 3

Method and device for measuring structures on a transparent substrate

Veröffentlichungsnr. (Sek.) ☐ US6323953
Veröffentlichungsdatum : 2001-11-27
Erfinder : BLAESING-BANGERT CAROLA (DE); BECK MATHIAS (DE); RINN KLAUS (DE); KACZYNSKI ULRICH (DE)
Anmelder : LEICA MICROSYST GMBH (US)
Veröffentlichungsnummer : ☐ DE19819492
Aktenzeichen:
(EPIDOS-INPADOC-normiert) US19990240681 19990202
Prioritätsaktenzeichen:
(EPIDOS-INPADOC-normiert) DE19981019492 19980430
Klassifikationssymbol (IPC) : G01N21/00; G01N21/88; G01B11/14
Klassifikationssymbol (EC) : G01B11/02F, G03F1/00Z, G03F7/20T, G03F7/20T24
Korrespondierende Patentschriften ☐ EP1075642 (WO9957508), B1, JP2002513920T, TW384386,
☐ WO9957508

Bibliographische Daten

A measuring device for measuring structures on a transparent substrate includes an incident-light illuminating device, an imaging device, and a detector device for the imaged structures and a measuring stage for receiving the substrate. The stage is displaceable in an interferometrically measurable fashion perpendicularly to and relative to an optical axis of the imaging device. The measuring stage is designed as an open frame with a receiving edge for the substrate. A transmitted-light illuminating device is provided beneath the measuring stage. The optical axis of the transmitted light illuminating device is aligned with that of the incident-light illuminating device

Daten aus der **esp@cenet** Datenbank - - I2